

## CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA TURBINA "TIPO PELTON"

**Luís Carlos Timm**

*Laboratório Física do Solo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, CP. 96, CEP: 13416-000. E-mail: lctimm@cena.usp.br*

**Tamara Maria Gomes**

**Roberto Terumi Atarassi**

**Tarlei Arriel Botrel**

*Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, CP. 9, CEP: 13418-900.*

### 1 RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho de uma turbina tipo "Pelton" por meio dos seguintes parâmetros: potência no eixo, rotação, torque e rendimento. A turbina foi construída com materiais de baixo custo, sendo os ensaios realizados em diferentes vazões e cargas hidráulicas. Os resultados proporcionaram um rendimento máximo em torno de 46%, possibilitando qualquer instituição de ensino e pesquisa construir o equipamento a baixo custo, adequado para a demonstração da transformação da energia hidráulica em energia mecânica.

**UNITERMOS:** Turbina pelton, rendimento, potência.

**TIMM, L. C.; GOMES, T. M.; ATARASSI, R. T.; BOTREL, T. A. CONSTRUCTION AND EVALUATION OF A PELTON TURBINE**

### 2 ABSTRACT

This study was carried out in Piracicaba, SP, Brazil aiming to evaluate a "Pelton" turbine performance through the following parameters: axis power, rotation, torque and efficiency. The turbine was built using low cost material and tests have been performed applying different flow rates and hydraulic heads. The results show that 46% was the maximum efficiency, making it possible to any educational and research institution to build a low-coast equipment which is appropriate to demonstrate the transformation of hydraulic into mechanical energy.

**KEYWORDS:** Pelton turbine, yield, power.

### 3 INTRODUÇÃO

O uso e o aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis em uma propriedade rural, pode solucionar muitos problemas cotidianos, p.e., geração de energia elétrica, beneficiamento de grãos, etc. A transformação da energia hidráulica em energia mecânica é promovida pelas turbinas hidráulicas, que aproveitam a energia potencial e/ou cinética da água e transformam em energia mecânica, usualmente de rotação.

A grande vantagem no uso de turbinas hidráulicas, com o objetivo de aproveitamento energético, é o baixíssimo custo quando comparado com o de uma micro central elétrica, e ainda, com um menor risco de impacto ambiental (BLANCO et al., 1996).

Estima-se que nos próximos 20 anos a energia hidráulica contribuirá com quase 30 % da energia elétrica do planeta, cuja participação atual é de 19 %. Vários tipos de turbinas hidráulicas podem ser usadas em pequenas, mini e micro centrais hidroelétricas, sendo que as turbinas mais utilizadas são Francis, Kaplan e Pelton (DRTINA & SALLABERGER, 1999; MELLO JUNIOR, 2000).

Segundo Quantz (1966), as turbinas tipo Pelton, são utilizadas em quedas de água entre 60 a 1500 m, e em situações que se necessitam pequenos valores de vazões, conseguindo rendimentos da ordem de 90%.

O presente trabalho teve o objetivo didático de construir uma turbina tipo “Pelton” e avaliar o seu desempenho.

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A construção e o ensaio da turbina tipo Pelton, foram realizados no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural/ ESALQ – USP, Piracicaba, SP.

Os materiais utilizados para a construção da turbina foram: disco de madeira de ipê com diâmetro de 20 cm e espessura de

1,5 cm; 24 colheres de aço inoxidável; dinamômetro confeccionado com cano de PVC e mola de fabricação apropriada, com capacidade de 3,0 kg; polia de diâmetro de 56,1 mm; bocal de diâmetro 8,41 mm (Figura 1). Para o ensaio da turbina foram usados um tacômetro digital (marca Minipa, modelo MDT-2244), com precisão de 1 rotação por minuto; conjunto moto-bomba (marca Pedrollo, modelo CPM-130, 0,5 hp), tubulações, conexões, etc.



**Figura 1.** Turbina Pelton Confeccionada. (1) Detalhe da colher de aço inoxidável

Os métodos de análises utilizados foram de desempenho da turbina e estatístico de interpretação. No método de avaliação de desempenho da turbina, analisaram-se os parâmetros potência mecânica, rotação no eixo, torque e rendimento.

Para a mensuração da potência gerada no eixo da turbina utilizou-se um freio de corda acoplado a 2 dinamômetros de mola, confeccionado em canos de PVC. O princípio de funcionamento baseia-se no atrito entre uma corda de tecido e a parte interna da canaleta da polia (freio de Prony), o qual varia por meio da distensão das molas do dinamômetro ocasionando uma frenagem da polia.

A cada vazão medida determinou-se a rotação da turbina livre (sem frenamento). Em seguida, iniciou-se a etapa de frenagem progressiva no eixo da polia. Em cada frenagem tomaram-se leituras no dinamômetro de mola e da rotação no eixo da turbina, por intermédio de um tacômetro digital, até que a rotação do eixo atingisse um valor mínimo.

O cálculo da potência no eixo da turbina foi determinado por:

$$Pot_{mec} = \frac{(\Delta F) \cdot R \cdot 2 \cdot \pi \cdot rpm}{60} \quad (1)$$

onde:

$Pot_{mec}$  = potência mecânica, em W;

$\Delta F$  = diferença de forças entre os 2 dinamômetros, responsáveis pelo frenamento da polia, em N;

$R$  = raio da polia medido na canaleta, em m;

rpm = rotações por minuto.

Os valores de torque foram obtidos por meio da seguinte expressão:

$$T = \Delta F \cdot R \quad (2)$$

onde:

$T$  = torque no eixo da polia, em N m.

e bocal; (2) Polia e (3) Disco de madeira com as colheres.

Os valores de vazão foram obtidos diretamente na bancada onde foi executado o ensaio. A pressão, foi tomada por meio de um manômetro instalado na tubulação de entrada da turbina.

Com os valores de vazão e carga hidráulica, obtiveram-se os valores de potência hidráulica:

$$Pot_{hid} = h \cdot \gamma \cdot Q \quad (3)$$

onde:

$Pot_{hid}$  = potência hidráulica, em W;

$Q$  = vazão, em  $m^3 s^{-1}$ ;

$h$  = carga hidráulica, em m.c.a.;

$\gamma$  = peso específico da água, em  $N m^{-3}$ .

A partir dos dados de potência hidráulica e mecânica, calcularam-se os valores de rendimento da turbina por meio da seguinte expressão:

$$\eta = \frac{Pot_{mec}}{Pot_{hid}} \cdot 100 \quad (4)$$

onde:

$\eta$  = rendimento, em %;

$Pot_{hid}$  = potência hidráulica, em W;

$Pot_{mec}$  = potência mecânica, em W.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos de potência mecânica e rendimento foram ajustados à uma equação polinomial de segundo grau:  $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$  (Figura 2), por meio de análise de regressões, obtendo elevados coeficientes de determinação  $R^2$  (método estatístico de interpretação).

Os resultados obtidos nos ensaios da turbina tipo "Pelton" confeccionada com uma polia

de Raio 0,0561 m, são apresentados na Tabela 1 e nas Figuras 2, 3 e 4 a seguir:

**Tabela 1.** Parâmetros das equações de ajustes e  $R^2$  para a relação Potência mecânica e Rendimento x Rotação para as diferentes potências hidráulicas, vazões e cargas hidráulicas.

Pot Hidr. (W)	Vazão ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) x $10^{-4}$	Carga Hidr. (mca)	Potência mecânica			Rendimento			$R^2$
			a	b	c	a	b	c	
44,80	5,70	8	-0,0002	0,1108	-0,4783	-0,0004	0,2473	-1,0673	0,994
55,57	6,30	9	-0,0002	0,1268	-0,1631	-0,0003	-0,2281	-0,2936	0,999
63,21	6,40	10	-0,0002	0,1417	-0,5734	-0,0003	0,2241	-0,9072	0,997
75,89	7,00	11	-0,0002	0,1573	-0,9702	-0,0002	0,2072	-1,2784	0,995
83,97	7,10	12	-0,0002	0,1677	-0,7968	-0,0002	0,1997	-0,9489	0,990
94,49	7,40	13	-0,0002	0,1701	-0,1119	-0,0002	0,1800	-0,1184	0,982
105,64	7,70	14	-0,0002	0,2029	-1,2014	-0,0002	0,1920	-1,1372	0,994
127,89	8,70	15	-0,0002	0,2235	-1,6965	-0,0002	0,1748	-1,3266	0,994

Analisando-se conjuntamente os valores de rotação, torque e potência mecânica apresentados nos gráficos das Figuras 2 e 3, verifica-se que os valores máximos de torque e potência mecânica foram de 15,68 N m e 52,81 W, respectivamente, sendo os mesmos resultantes do maior valor de vazão que foi possível medir durante a realização do ensaio, ou seja,  $8,70 \times 10^{-4} m^3 s^{-1}$ . O mesmo comportamento foi observado por Gadanha Junior (1987).

Na Figura 4 são representados os valores de rendimento em função da rotação para os diferentes valores de cargas hidráulicas medidas. O valor máximo de rendimento obtido foi de 46,08 % para a rotação de 537,30 rpm, encontrado para a carga hidráulica de 14 mca (vazão de  $7,70 \times 10^{-4} m^3 s^{-1}$ ). Segundo Roma (1993), maiores valores de rendimento são alcançados com o aumento da pressão, o que não foi observado durante a realização do ensaio desta turbina, já que não houve uma tendência de aumento do rendimento com o aumento da pressão.

As principais evoluções no desempenho das turbinas estão concentradas em modificações no injetor da turbina, emprego de diferentes materiais nas pás, eixo e rolamentos (MELLO JÚNIOR, 2000).

## 6 CONCLUSÃO

A turbina tipo “Pelton” confeccionada atingiu o objetivo didático proposto, utilizando materiais de baixo custo e permitindo a avaliação dos parâmetros que caracterizam o equipamento (torque, potência mecânica e rendimento).

O valor máximo de rendimento de 46,08 % foi satisfatório nas condições em que o experimento foi executado, indicando que para a melhoria do protótipo alguns estudos como ângulo de entrada do jato, diâmetro do bocal, inclinação das colheres e resistência do dinamômetro seriam necessários.

## 7 AGRADECIMENTO

Ao Departamento de Engenharia Rural – Setor Hidráulica pela disponibilização do espaço físico e equipamentos para o desenvolvimento deste trabalho.

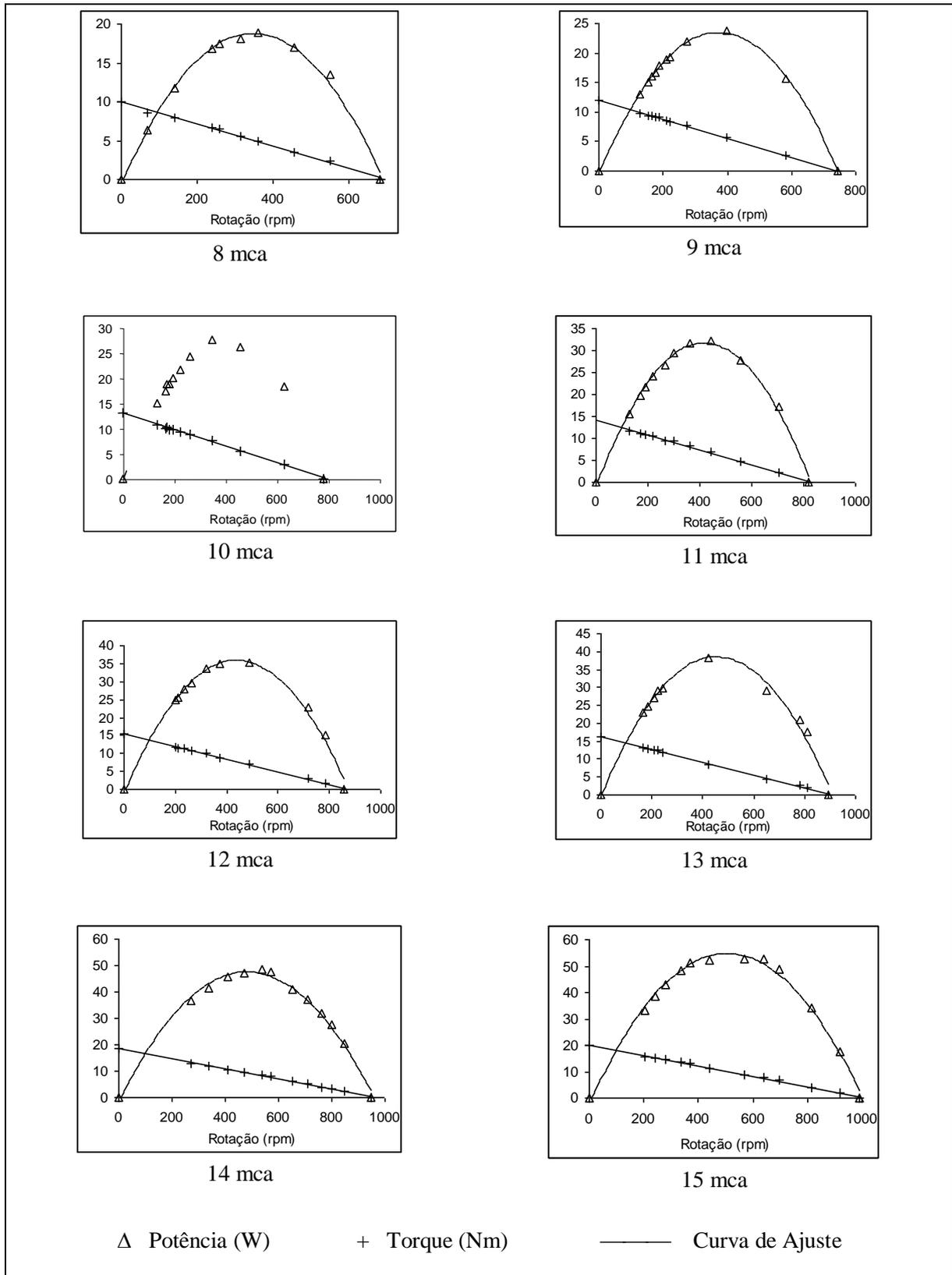


Figura 2. Potência mecânica e torque obtidos no ensaio com suas respectivas curvas de ajuste.

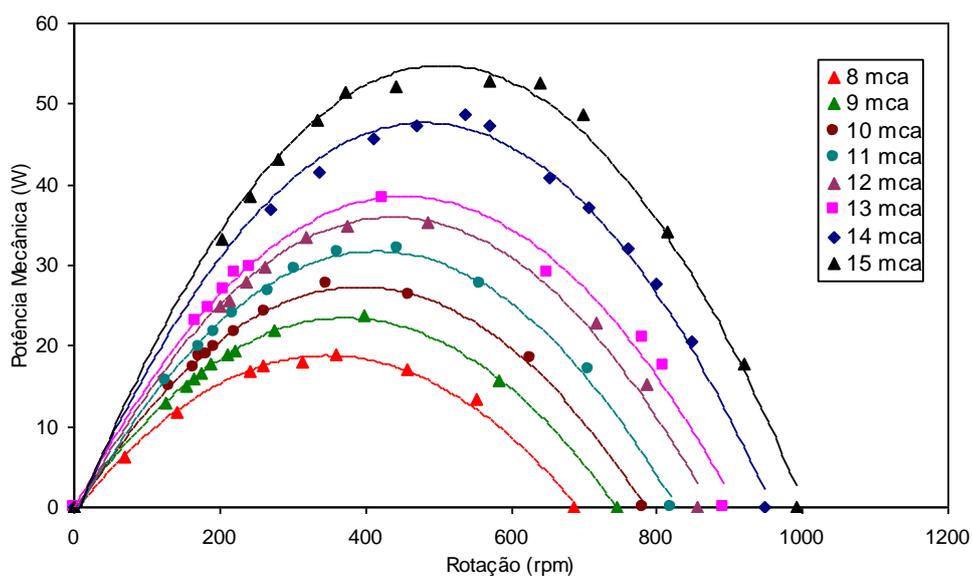


Figura 3. Potência mecânica para diferentes cargas hidráulicas.

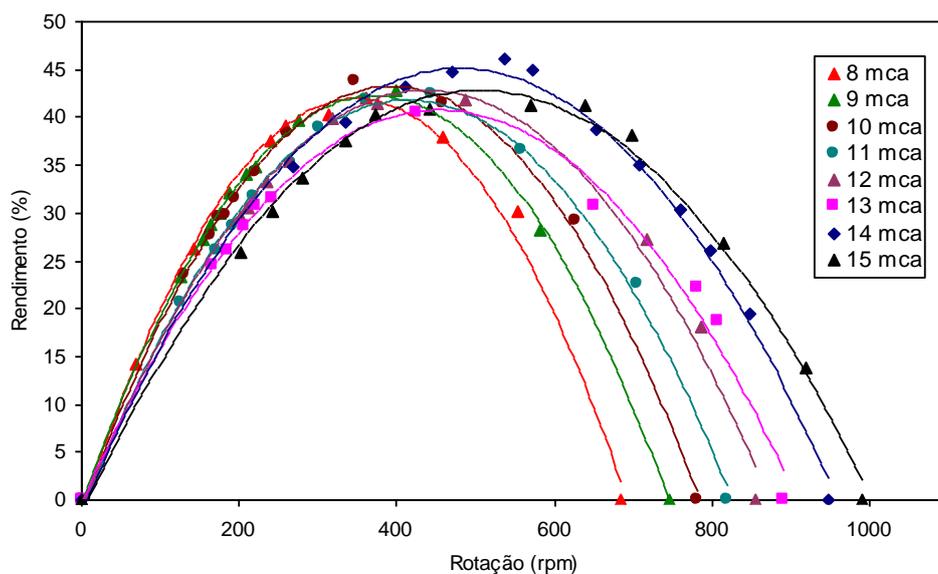


Figura 4. Rendimentos para diferentes cargas hidráulicas.

### 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANCO, C. J. C.; GOUVEIA, A. V.; MESQUITA, A. L. A. Análise hidrodinâmica de rotores axiais para aproveitamento da energia cinética dos rios. In: Brazilian Congress

of Engineering and Thermal Sciences, 6. and Latin American Congress of Heat and Mass, 6., 1996. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1996. v.3, p.1887-1890.

DRTINA, P.; SALLABERGER, M. **Hydraulic turbines – basic principles and state-of-art computational fluid dynamics applications.**

Mechanical Engineering Science, 213(1): 85-102, 1999.

GADANHA JUNIOR, C. D. **Avaliação de uma turbina tipo “Pelton”**. Piracicaba: Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1987. 21f.

MELLO JUNIOR, A. G. de. **A turbina de fluxo cruzado (Michell-Banki) como opção para centrais hidráulicas de pequeno porte**.

2000. 176f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

QUANTZ, L. **Motores hidráulicos**. 2. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1966. 247f.

ROMA, W. N. L. **Introdução as turbinas hidráulicas**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993. 67f.